

**PENGARUH KADAR AIR TERHADAP KUAT GESER TANAH EKSPANSIF  
BOJONEGORO DENGAN STABILISASI MENGGUNAKAN 15% *FLY ASH*  
DENGAN METODE *DEEP SOIL MIX***

**JURNAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Disusun Oleh:**  
**IKA MEISY PUTRI RAHMAWATI**  
**115060113111002**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**MALANG**  
**2015**

# Pengaruh Kadar Air Terhadap Kuat Geser Tanah Ekspansif Bojonegoro dengan Stabilisasi menggunakan 15% *Fly Ash* dengan Metode *Deep Soil Mix*

Ika Meisy Putri Rahmawati, Yulvi Zaika, Arief Rachmansyah

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: meisy.onat@gmail.com

## ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif memiliki daya dukung rendah dan sifat kembang susut yang tinggi, tanah lempung ekspansif salah satunya berada di Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro. Tanah tipe ini perlu dilakukan stabilisasi, pada penelitian ini stabilisasi dilakukan dengan penambahan 15% fly ash dengan metode deep soil mix untuk mengetahui kuat geser tanah dan pengembangannya. Untuk kuat geser tanah sampel dibedakan kadar air di sekitar deep soil mix yaitu OMC,  $OMC \pm 3\%$  dan  $OMC \pm 6\%$  dengan uji kuat tekan bebas dan uji triaksial. Sedangkan untuk pengembangan (swelling) sampel dibedakan jumlah deep soil mix. Dari hasil penelitian uji kuat tekan bebas (unconfined compression test) didapatkan semakin besar kadar air pada daerah sekitar deep soil mix nilai  $q_u$ , tegangan dan  $C_u$  semakin kecil. Untuk sudut geser ( $\phi$ ) yang diuji dengan uji triaksial (triaxial test) didapatkan semakin besar kadar air sudut geser ( $\phi$ ) semakin kecil. Sedangkan untuk nilai kohesi ( $c$ ) dari sampel didapatkan bahwa nilai kohesi ( $c$ ) terbesar berada pada sekitar daerah OMC. Jumlah deep soil mix (DSM) juga mempengaruhi pengembangan tanah lempung ekspansif, semakin banyak jumlah deep soil mix pengembangan (swelling) tanah akan menurun.

**Kata-kata kunci:** Lempung Ekspansif, Stabilisasi Tanah, *Fly Ash*, *Deep Soil Mix*, Kuat Tekan Bebas, Triaksial, Swelling.

## Pendahuluan

Tanah lempung ekspansif mempunyai tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap perubahan kadar air dan juga memiliki sifat yang kurang baik seperti plastisitas tinggi, kekuatan geser yang rendah, kemampatan atau perubahan volume yang tinggi, dan potensi kembang susut yang besar. Hal ini dapat menyebabkan kegagalan pada struktur di atasnya karena di sisi lain Indonesia juga mempunyai musim kemarau dan hujan yang berjangka lama.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengatasi masalah tanah lempung ekspansif ini agar lebih stabil dengan zat aditif. Zat aditif yang digunakan untuk stabilisasi tanah ekspansif dapat berupa bahan industrial maupun dari limbah produksi, salah satunya adalah *fly ash*. Adapun metode yang digunakan untuk stabilisasi tanah menggunakan *deep soil mix* (DSM) yaitu perbaikan tanah dalam.

Penelitian ini menggunakan zat aditif *fly ash* dengan kadar 15% yang akan dicampurkan dengan tanah lempung ekspansif. Pembuatan sampel dengan

metode DSM untuk mengetahui kuat geser tanah dan pengembangan tanah.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui adanya pengaruh kadar air terhadap tegangan dan regangan pada tanah lempung ekspansif Bojonegoro yang telah dicampur 15% *fly ash* dengan metode DSM.
2. Untuk mengetahui adanya pengaruh kadar air terhadap kohesi ( $c$ ) dan sudut geser ( $\phi$ ) pada tanah lempung ekspansif Bojonegoro yang telah dicampur 15% *fly ash* dengan metode DSM.
3. Untuk mengetahui adanya pengaruh jumlah DSM terhadap kembang susut (swelling) pada tanah lempung ekspansif Bojonegoro yang telah dicampur zat aditif 15% *fly ash*.

## Tinjauan Pustaka

### Pengertian tanah lempung

Lempung terdiri dari partikel yang berbentuk lempeng pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral lempung dan mineral lainnya. Faktor utama yang digunakan untuk mengontrol ukuran, bentuk, sifat fisik, sifat kimia dan partikel tanah adalah mineralogi. Tiga jenis mineral

lempung utama yang sudah dikenal yaitu *kaolinite*, *illite*, *montmorillonite*.

Dari kelompok mineral pembentuknya, tanah lempung dapat dibagi menjadi lempung ekspansif dan non ekspansif. Tanah lempung ekspansif merupakan proses kembang susut tanah secara luar biasa disebabkan oleh kandungan mineral ekspansif sehingga memiliki kapasitas pertukatan ion yang tinggi dan biasanya tanah jenis lempung ekspansif ini bersifat sangat terpengaruh oleh kadar air.

Tabel 1 Klasifikasi potensi didasarkan pada atterberg limit.

Batas susut Atterberg	Susut linear	Derajat mengembang
(%)	(%)	
<10	>8	Kritis
10-12	5-8	Sedang
>12	0-8	Tidak kritis

Sumber: Chen (1975).

Skempton (1953), mendefinisikan sebuah parameter yang disebut aktivitas dalam rumus sebagai berikut:

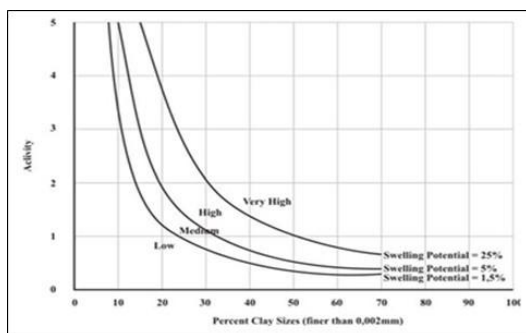
$$\text{Activity (A)} = \frac{PI}{C} \quad (1)$$

Dimana:

A = Aktivitas

PI = indeks plastisitas

C = Prosentase lempung <0,002 mm



Gambar 1 Grafik klasifikasi potensi mengembang.

#### Metode pencampuran tanah

Metode pencampuran ini merupakan teknologi perbaikan tanah yang digunakan untuk memperbaiki tanah dengan tujuan untuk meningkatkan

kekuatan dan mengurangi kompresibilitas. Metode ini termasuk metode mekanis yang dilakukan dengan cara pencampuran tanah asli dengan bahan aditif yaitu *fly ash* dengan kadar 15%.

*Deep Soil Mix* (DSM) merupakan metode pencampuran tanah dengan bahan aditif dengan kedalaman melebihi 30 m.

#### Uji kembang susut (Swelling)

Swelling adalah bertambahnya volume tanah secara perlahan-lahan akibat tekanan air pori berlebih negatif.

Uji *swelling* dilakukan di silinder berbahan logam. Waktu yang dibutuhkan air untuk pengujian dipertimbangkan terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk masuk ke dalam tanah, karena tanah ekspansif tidak segera mengembang ketika berinteraksi dengan air. Beberapa penelitian melakukan pengujian ini selama dua jam dan menunggu sampai kecepatan mengembang mencapai kecepatan tertentu (0,001"/jam), sehingga memerlukan waktu beberapa hari.

#### Uji kuat tekan bebas (Unconfined Compression Test)

Uji kuat tekan bebas merupakan uji kekuatan tanah dengan tekanan satu arah. Kuat tekan bebas ( $q_u$ ) adalah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15%.

Sensibility merupakan perbandingan antara kekuatan tanah asli (*undisturbed*) dengan kekuatan setelah tekan (*remolded*). Semakin besar kekuatan yang hilang semakin tinggi sensitivity tanah tersebut. Sensivity (ST) dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Sensitivity (ST)} = \frac{q_u (\text{undisturbed})}{q_u (\text{remolded})} \quad (2)$$

Tabel 2 Hubungan golongan tanah dengan sensivity

Golongan tanah	Sensivitas
Normal	< 4
Sensitif	4-8
Ekstra Sensitif	8-16
Quick	>16

### Uji triaksial (Triaxial Test)

Pada pengujian ini sampel tanah diletakkan di atas dasar sel dan dibagian atas ditutup. Sampel tanah ditutup dengan membran yang diameternya sama dengan sampel. Sel diisi dengan air dengan tegangan air dinaikkan sampai nilai yang dimaksudkan. Tegangan sel ( $\sigma_3$ ) dibiarkan bekerja selama jangka waktu tertentu. Pengukuran kuat geser dilakukan dengan memberikan tekanan vertikal pada sampel. Pembacaan dapat dilakukan pada proving ring pada tegangan tertentu. Dari pembacaan dapat diketahui tekanan maksimum yang terjadi saat terjadi keruntuhan.

### Metode Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung ekspansif yang berasal dari Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur dan *fly ash* yang diperoleh dari toko bangunan di Malang.

Setelah sampel tanah lempung ekspansif dan *fly ash* telah diperoleh, berikutnya adalah tahapan persiapan benda uji. Adapun persiapan benda uji dengan dibedakan variasi kadar air  $OMC \pm 6\%$ . Setiap sampel tanah dipadatkan sampai kepadatan yang sudah ditentukan. Selanjutnya dilakukan pembuatan DSM dengan menggunakan pipa diameter 30 mm. Sedangkan untuk sampel *swelling*, ada sampel untuk tanah asli dan 6 sampel dibedakan untuk jumlah DSM 1-6 buah. Dilanjutkan proses pemeraman selama 4 hari sebelum dilakukan pengujian.

Ada tiga pengujian yang akan dilakukan, yaitu:

1. Uji tekan bebas (*unconfined compression test*): ASTM D 2166-85
2. Uji triaksial (*triaxial test*): ASTM D 2850-87
3. Uji *swelling*: ASTM D 4546-86

### Hasil dan Pembahasan

#### Pengujian tanah dasar

Hasil pengujian tanah dasar sebagai berikut:

Berat jenis = 2,730

Batas cair (*liquid limit*) = 73,92%

Batas plastis (*plastic limit*) = 30,41%

Batas susut (*shrinkage limit*) = 2,4%

Indeks plastisitas (PI) = 43,92%

Tanah lolos ayakan No. 200 = 91,83%

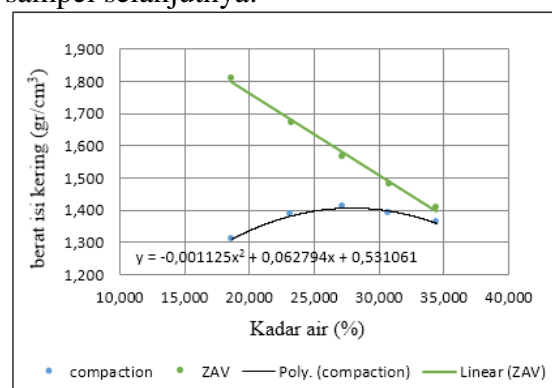
Klasifikasi tanah sistem unified tanah lempung tergolong sebagai tanah CH (lempung dengan plastisitas tinggi).

#### Sifat ekspansif

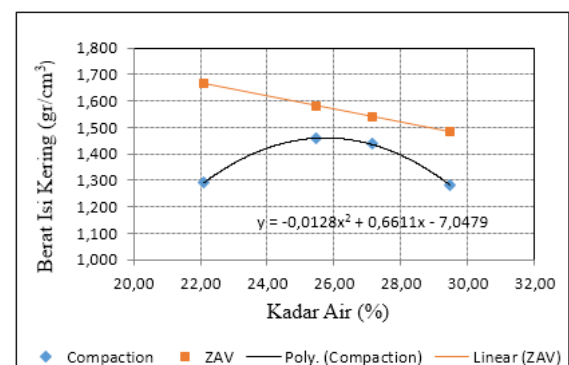
Klasifikasi secara tidak langsung dapat ditentukan dengan plot pada gambar 1. Berdasarkan rumus 1 maka nilai aktivitas tanah tanpa campuran adalah 1,18 dan telah diketahui juga dari hasil analisis saringan dan hidrometer bahwa persentase tanah ukuran 0,002 mm adalah 37,32%. Maka diketahui bahwa tanah tersebut termasuk klasifikasi tanah dengan potensi pengembangan yang tinggi.

#### Pemeriksaan pemadatan standar

Berikut adalah hasil pengujian pemadatan standar untuk tanah asli yang nantinya akan digunakan untuk pembuatan sampel selanjutnya.



Gambar 2 Grafik hasil pemadatan tanah asli



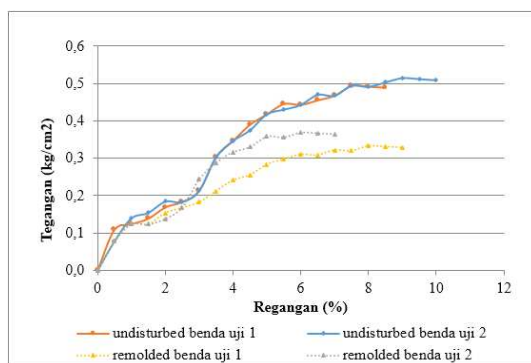
Gambar 3 Grafik hasil pemadatan tanah asli + 15% *fly ash*.

Dari gambar 2 di atas diperoleh kadar air optimum (OMC) adalah 27,9% dan untuk berat isi kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) adalah 1,407 gr/cm<sup>3</sup>. Untuk data pemadatan tanah yang sudah dicampur dengan 15% *fly ash* merupakan data yang diperoleh dari penelitian Tobing (2014) yang ditampilkan pada gambar 3 dan nantinya akan digunakan sebagai bahan stabilisasi *deep soil mix*, dengan kadar air optimum (OMC) adalah 25,8% dan berat isi kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) adalah 1,488 gr/cm<sup>3</sup>.

Berhubung penelitian ini ada hubungannya dengan penelitian yang lain tentang perbaikan tanah *deep soil mix* maka pada penelitian ini menggunakan berat isi maksimum ( $\gamma_d$  maks) yang sama dengan penelitian tersebut. Maka selanjutnya untuk penelitian ini menggunakan berat isi maksimum ( $\gamma_d$  maks) sebesar 1,28 gr/cm<sup>3</sup> dengan kadar air optimum tetap yaitu 27,9% dengan kepadatan relative  $R_c = 91\%$ .

#### Pengujian kuat bebas tanah (*Unconfined*)

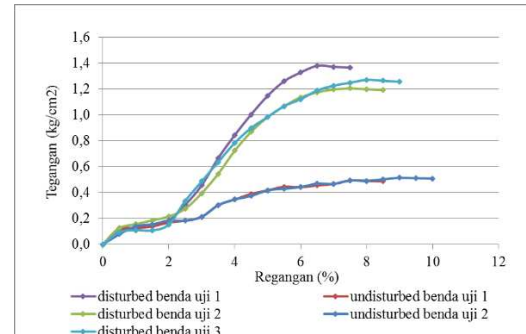
Hasil yang diperoleh dari uji tekan bebas untuk tanah asli (*undisturbed*) dan tanah *remolded* adalah seperti diperlihatkan pada gambar 4 berikut.



Gambar 4 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded*.

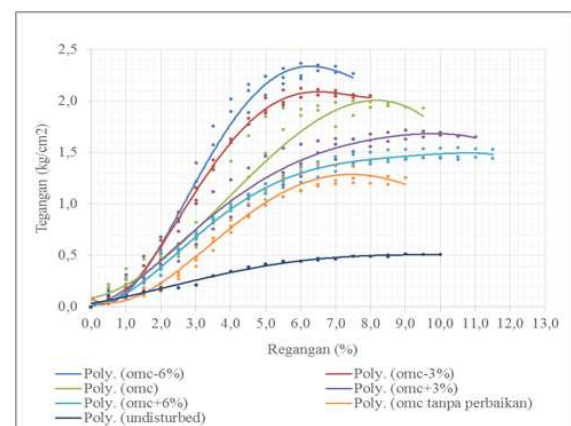
Hasil pengujian *unconfined* seperti terlihat pada gambar 4 menunjukkan bahwa kondisi *undisturbed* lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *remolded*. Tanah kondisi *undisturbed* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 0,504 kg/cm<sup>2</sup> sedangkan tanah kondisi *remolded* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 0,351 kg/cm<sup>2</sup>.

Semakin besar kekuatan yang hilang maka semakin tinggi sensivity tanah tersebut, dari hasil penelitian ini untuk tanah *undisturbed* dan tanah *remolded* menghasilkan nilai sensivity sebesar 1,436 dan termasuk tanah normal.



Gambar 5 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC).

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa tegangan maksimum rata-rata untuk tanah *remolded* dengan cara dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) yaitu 1,286 kg/cm<sup>2</sup> lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *undisturbed* yang hanya memiliki  $q_u$  rata-rata 0,504 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini dikarenakan pemadatan dapat mengakibatkan perubahan-perubahan struktur tanah salah satunya adalah meningkatkan kekuatan tanah, dimana kekuatan tanah lempung yang dipadatkan akan bergantung pada cara usaha pemadatan, macam tanah, kondisi tanah dan kadar air saat dipadatkan.

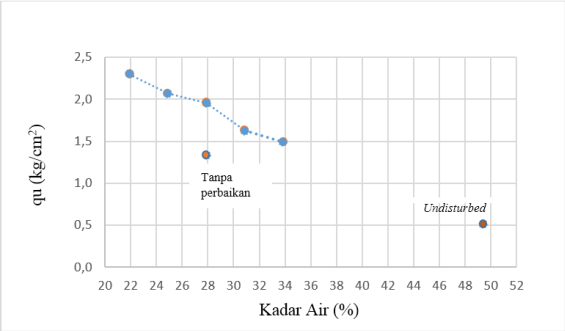


Gambar 6 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah (*undisturbed, remolded*)

tanpa perbaikan, *remolded* dengan perbaikan yang divariasikan kadar air).

Pada gambar 6 menunjukkan bahwa tegangan maksimum tanah ekspansif *undisturbed* mempunyai nilai terkecil, hal ini disebabkan karena tanah *undisturbed* memiliki kadar air yang lebih tinggi dari pada yang lain dan tanah ini masih tanah asli tanpa perbaikan atau tidak ditambah dengan zat aditif.

Sedangkan untuk benda uji yang diperbaiki dengan *fly ash* tegangan maksimumnya juga dipengaruhi oleh kadar air optimum di sekitar *deep soil mix*, semakin tinggi kadar air tanah asli maka semakin rendah tegangan maksimum dari tanah tersebut.

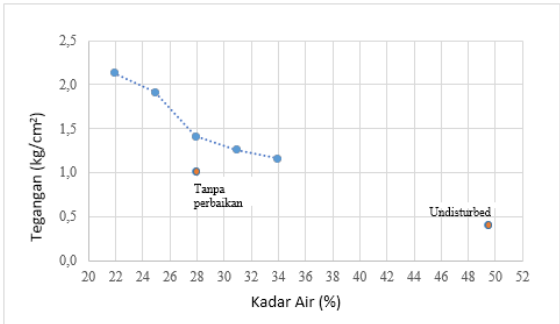


Gambar 7 Grafik pengaruh kadar air terhadap qu.

Tabel 3 Peningkatan nilai qu dari tanah asli akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan.

No.	Kadar air	qu tanah asli (kg/cm <sup>2</sup> )	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Peningkatan (%)
1	OMC-6%	0,504	2,297	356
2	OMC-3%		2,085	314
3	OMC dengan perbaikan		1,963	289
4	OMC+3%		1,673	232
5	OMC+6%		1,486	195
6	OMC tanpa perbaikan		1,286	155

Untuk variasi dari kadar air dari gambar 7 sudah terlihat jelas bahwa semakin besar kadar air pada sekitar *deep soil mix* nilai qu semakin menurun, nilai qu terbesar didapat pada kadar (OMC-6%) yaitu 2,297 kg/cm<sup>2</sup> dengan peningkatan mencapai 356% dari tanah asli.

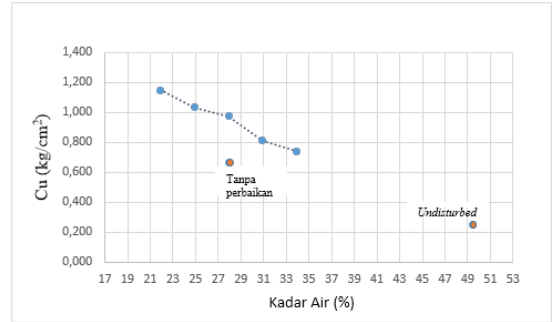


Gambar 8 Grafik pengaruh kadar air terhadap tegangan pada saat regangan tanah sebesar 5%.

Tabel 4 Peningkatan nilai tegangan dari tanah asli akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan.

No.	Kadar air	Tegangan tanah asli (kg/cm <sup>2</sup> )	tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Peningkatan (%)
1	OMC-6%	0,402	2,137	431
2	OMC-3%		1,918	377
3	OMC dengan perbaikan		1,414	252
4	OMC+3%		1,264	214
5	OMC+6%		1,164	189
6	OMC tanpa perbaikan		1,017	153

Nilai tegangan ini adalah nilai tegangan pada saat sampel mengalami regangan yang sama sebesar 5%. Untuk benda uji yang dibedakan kadar air semakin besar kadar air nilai tegangan semakin kecil terlihat pada gambar 8. Tanah yang diperbaiki dengan *deep soil mix* kadar (OMC-6%) memiliki tegangan tebesar 2,137 kg/cm<sup>2</sup> dan dapat meningkatkan tegangan sebesar 431% dari tanah asli, tanah lempung ekspansif memiliki nilai tegangan dan daya dukung yang tinggi ketika tanah ini kaku.



Gambar 9 Grafik pengaruh kadar air terhadap nilai Cu.



Tabel 5 Peningkatan nilai Cu dari tanah asli akibat perubahan kadar air untuk tanah perbaikan dan tanpa perbaikan.

No.	Kadar air	Cu tanah asli (kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Peningkatan (%)
1	OMC-6%	0,252	1,148	128
2	OMC-3%		1,043	107
3	OMC dengan perbaikan		0,981	95
4	OMC+3%		0,836	66
5	OMC+6%		0,743	47
6	OMC tanpa perbaikan		0,643	28

Pada gambar 9 terlihat bagaimana pengaruh variasi kadar air pada benda uji yang sudah dilakukan perbaikan terhadap nilai Cu. Semakin tinggi kadar air nilai Cu semakin kecil. Nilai Cu terbesar didapat pada benda uji kadar (OMC-6%) sebesar 1,148 kg/cm<sup>2</sup>, nilai Cu meningkat sebesar 128% dari nilai Cu tanah asli.

#### Pengujian triaksial (Triaxial Test)

Benda yang diuji untuk uji triaksial sama dengan benda uji *unconfined*, berikut hasil dari uji triaksial.

Tabel 6 Perbandingan sudut geser ( $\phi$ ) dan kohesi (c) untuk tanah *undisturbed* dan *remolded*.

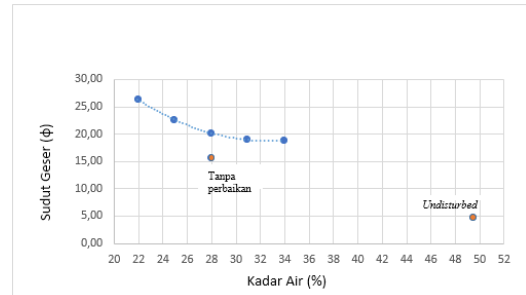
No.	tanah	Kadar air (%)	$\phi$ (°)	c
1	tanah asli ( <i>undisturbed</i> )	49,46	4,81	0,2525
2	tanah dipadatkan dengan OMC ( <i>remolded</i> )	27,9	15,75	0,5404

Pada tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai sudut geser dan kohesi pada tanah yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) memiliki nilai yang lebih besar yaitu dibandingkan dengan tanah asli (*undisturbed*). Hal tersebut terjadi kerana kondisi tanah asli (*undisturbed*) memiliki kadar air yang lebih tinggi karena sampel diambil ketika musim penghujan sehingga mengurangi sudut geser dan kohesi tanah.

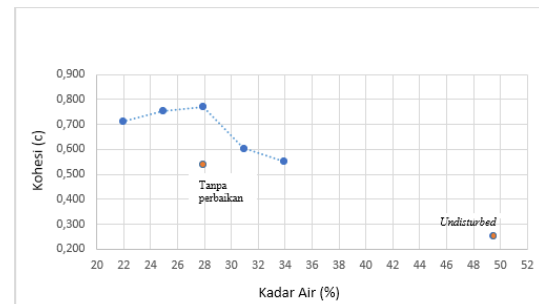
Tabel 7 Hasil sudut geser ( $\phi$ ) dan kohesi (c) variasi kadar air.

No.	Kadar air	$\phi$ (°)	Peningkatan $\phi$ (%)	c	Peningkatan c (%)
1	OMC-6%	21,9	26,38	0,712	182
2	OMC-3%	24,9	22,75	0,755	199
3	OMC dengan perbaikan	27,9	20,16	0,772	206
4	OMC+3%	30,9	19,02	0,605	139
5	OMC+6%	33,9	18,82	0,553	119
6	OMC tanpa perbaikan	27,9	15,75	0,540	114
7	<i>Undisturbed</i>	49,46	4,81	0,253	-

Pada tabel 7 adalah hasil sudut geser ( $\phi$ ) dan kohesi (c) dari tanah asli (*undisturbed*), benda uji tanpa perbaikan dan benda uji yang sudah dilakukan perbaikan menggunakan 15% *fly ash* dengan metode *deep soil mix* terhadap variasi kadar air.



Gambar 10 Grafik pengaruh kadar air terhadap sudut geser ( $\phi$ ).



Gambar 11 Grafik pengaruh kadar air terhadap kohesi (c).

Sudut geser untuk variasi kadar air yaitu semakin tinggi kadar air disekitar *deep soil mix* sudut gesernya menjadi semakin kecil seperti terlihat pada gambar 10. Sudut geser terbesar terjadi ketika keadaan tanah dengan kadar air (OMC-6%) dengan nilai sudut geser ( $\phi$ ) sebesar 26,38°.

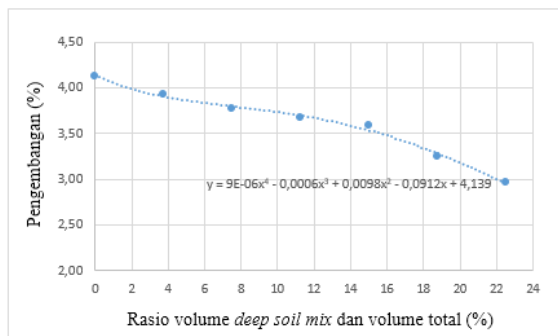
Sedangkan untuk variasi kadar air nilai kohesi dapat juga dilihat pada gambar 11 bahwa nilai kohesi (c) maksimum berada pada titik sekitar kadar air optimum (OMC) sebesar 0,77, nilai kohesi (c) ini meningkat 206% dari nilai kohesi (c) tanah asli (*undisturbed*) seperti terlihat pada tabel 7. Untuk kohesi dalam keadaan optimum kering yaitu nilai kohesinya lebih kecil dibandingkan dengan keadaan OMC, hal ini dikarenakan tanah belum mencapai keadaan optimum atau pada keadaan ini memiliki gaya tarik menarik antarpartikel rendah.

Untuk keadaan tanah OMC memiliki nilai kohesi yang paling tinggi dikarenakan kerapatan atau kepadatan yang paling maksimum.

Pada tanah keadaan optimum basah nilai kohesi kembali terjadi penurunan. Penurunan nilai kohesi ini disebabkan oleh adanya pergerakan partikel-partikel tanah yang saling menjauhi satu sama lain akibat dari pori-pori tanah terisi terlalu banyak air sehingga terjadi pelemahan ikatan antarpartikel dalam tanah.

#### Pengembangan (Swelling)

Uji pengembangan (*swelling*) ini dilakukan dengan kadar air optimum (OMC) dengan perbedaan pada jumlah *deep soil mix*. Hasil uji *swelling* dapat dilihat pada gambar 12 dan tabel 8.



Gambar 12 Perbandingan hasil *swelling* terhadap rasio volume *deep soil mix* dan volume total.

Tabel 8 Hasil uji pengembangan (*swelling*) untuk sampel tanpa DSM dan sampel dengan *deep soil mix*.

Sampel	Volume sampel (cm <sup>3</sup> )	Volume DSM (cm <sup>3</sup> )	Rasio volume <i>deep soil mix</i> dan volume total (%)	Pengembangan (%)	Penurunan nilai pengembangan (%)
tanah asli		0	0	4,133	-
dsm 1	2131,138	79,835	3,746	3,929	-5
dsm 2		159,669	7,492	3,779	-9
dsm 3		239,504	11,238	3,673	-11
dsm 4		319,338	14,984	3,593	-13
dsm 5		399,173	18,730	3,248	-21
dsm 6		479,007	22,477	2,965	-28

Pada gambar 12 menunjukkan bahwa semakin besar volume perbaikan dengan metode *deep soil mix* pengembangan (*swelling*) semakin kecil. Pengembangan terbesar terjadi pada sampel dengan perbaikan 6 *deep soil mix* atau dengan volume 22,477% dari volume tanah asli nilai pengembangan sebesar 2,965%.

#### Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan analisa dan pembahasan hasil penelitian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kadar air pada tanah asli berpengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin besar kadar air, nilai  $c_u$ , tegangan dan  $C_u$  semakin kecil.
2. Semakin besar kadar air pada tanah, nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) semakin kecil. Berbeda dengan nilai kohesi, nilai kohesi maksimum berada pada daerah sekitar OMC (kadar air optimum).
3. Volume *deep soil mix* berpengaruh terhadap pengembangan (*swelling*), semakin besar rasio volume perbaikan *deep soil mix*, maka pengembangan (*swelling*) semakin kecil.

Setelah melakukan analisa dan pembahasan terhadap hasil penelitian ini, maka muncul saran-saran untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut. Saran-saran yang dapat diberikan adalah:

1. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan bahan limbah yang lebih bervariasi untuk mengurangi pencemaran dan masalah lingkungan.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan menggunakan benda uji dari jenis tanah yang berbeda selain tanah lempung ekspasif.
3. Perlu diadakan perulangan dari setiap perlakuan agar hasil yang didapat lebih maksimal.
4. Perlu adanya peralatan praktikum yang lebih memadai, agar hasil dari penelitian lebih baik dan akurat.

#### Daftar Pustaka

Abadi, Taufan Candra. 1998. *Perbandingan Hasil Stabilisasi dengan Fly Ash dan Semen pada Tanah Ekspansif Cikampek*. Jurnal. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional.



- Anggoro, Rio. 2013. *Pengaruh Penambahan Fly Ash pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro terhadap Nilai CBR dan Swelling*. Skripsi Program Studi Sarjana pada Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bowles, Joseph E. 1986. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Bruce, Marry Ellen C, et al. 2013. "Deep Mixing for Embankment and Foundation Support" dalam *Federal Highway Administration Design Manual*. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Budi, et al. 2003. Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif. *Journal of Civil Engineering Dimension Volume 5 Nomor 1*. Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Kristen Petra.
- Chen, F. H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hartosukma, Endang Widorowati. 2005. *Perilaku Tanah Lempung Ekspansif Karangawen Demak Akibat Penambahan Semen dan Fly Ash sebagai Stabilizing Agents*. Tesis Terpublikasi: Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Herman. 2013. Pengaruh Abu Batubara PLTU Sijantang terhadap Parameter Geser Tanah Lempung. *Jurnal Momentum Volume 14 Nomor 1*. Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Perencanaan Institut Teknologi Padang.
- Kitazume, et al. 2013. *The Deep Mixing Method*. London: CRC Press.
- Leliana, Arinda dan Nur Andajani. 2015. Pengaruh Penambahan Fly Ash terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas pada Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Magetan Jawa Timur. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Volume 1 Nomer 1/ rekat/ 15*. Universitas Negeri Surabaya.
- Munawir, As'ad. 2014. *Buku Ajar Perbaikan Tanah*. Hand Out: Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Santosa, Budi, et al. 1998. *Dasar Mekanika Tanah*. Jakarta: Gunadarma.
- Seed, H. B., et al. 1962. Prediction of Swelling Potential of Compacted Clays.
- Sulistiyowati, Tri. 2006. Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Fly Ash Terhadap Nilai Daya Dukung CBR. *Jurnal Volume 2 Nomor 1*. Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Tobing, Benny Christian L. 2014. *Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR dan Swelling pada Tanah Lempung Ekspansif di Bojonegoro dengan Campuran 15% Fly Ash*. Skripsi Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Yuliet, Rina, dkk. 2011. *Uji Potensi Mengembang pada Tanah Lempung dengan Metoda Free Swelling Test*. Jurnal Rekayasa Sipil Volume 7 Nomor 1. Teknik Sipil Universitas Andalas.